

PCT/JP03/12748

06.10.03

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2002年10月 4日
Date of Application:

出願番号 特願2002-292585
Application Number:
[ST. 10/C] : [JP2002-292585]

出願人
Applicant(s):
三菱重工業株式会社
サイテック株式会社
株式会社パル構造

REC'D 21 NOV 2003
WIPO : PCT

BEST AVAILABLE COPY

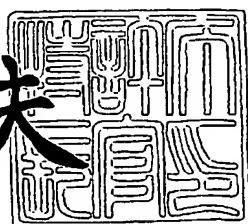
PRIORITY
DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

2003年11月 6日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願
【整理番号】 200202776
【提出日】 平成14年10月 4日
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 G05B 19/408
【発明の名称】 CADシステム及びCADプログラム
【請求項の数】 10
【発明者】
【住所又は居所】 長崎県長崎市深堀町五丁目 717番1号 三菱重工業株
式会社 長崎研究所内
【氏名】 三浦 正美
【発明者】
【住所又は居所】 長崎県長崎市深堀町五丁目 717番1号 三菱重工業株
式会社 長崎研究所内
【氏名】 河野 隆之
【発明者】
【住所又は居所】 長崎県長崎市深堀町五丁目 717番1号 三菱重工業株
式会社 長崎研究所内
【氏名】 佐々木 裕一
【発明者】
【住所又は居所】 長崎県長崎市旭町 8-20 株式会社パル構造内
【氏名】 中濱 剛
【発明者】
【住所又は居所】 愛知県安城市二本木町二ツ池 28番地1 サイテック株
式会社内
【氏名】 吉田 康彦
【特許出願人】
【識別番号】 000006208
【氏名又は名称】 三菱重工業株式会社

【特許出願人】**【識別番号】** 300014820**【氏名又は名称】** 株式会社パル構造**【特許出願人】****【識別番号】** 591099186**【氏名又は名称】** サイテック株式会社**【代理人】****【識別番号】** 100112737**【弁理士】****【氏名又は名称】** 藤田 考晴**【代理人】****【識別番号】** 100064908**【弁理士】****【氏名又は名称】** 志賀 正武**【選任した代理人】****【識別番号】** 100108578**【弁理士】****【氏名又は名称】** 高橋 詔男**【選任した代理人】****【識別番号】** 100101465**【弁理士】****【氏名又は名称】** 青山 正和**【手数料の表示】****【予納台帳番号】** 008707**【納付金額】** 21,000円**【提出物件の目録】****【物件名】** 明細書 1**【物件名】** 図面 1**【物件名】** 要約書 1

【包括委任状番号】 9908282

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 CADシステム及びCADプログラム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 曲面上の複数の点列を抽出する点列情報抽出手段と、
前記点列から他のCADシステムを用いて曲面を生成し、該曲面を所定数のメッシュに分割する分割手段と、

該メッシュの接平面を形成する接線ベクトルによって定義される一次規格量を算出する一次規格量算出手段と、

前記接線ベクトルと前記メッシュの法線ベクトルによって定義される二次規格量を算出する二次規格量算出手段と、

前記点列情報及び前記一次規格量並びに前記二次規格量を記憶する記憶手段とを具備することを特徴とするCADシステム。

【請求項 2】 前記一次規格量及び二次規格量に基づいて、前記メッシュの主曲率を算出する主曲率算出手段と、

前記主曲率に基づいて、前記メッシュの主方向を示す曲率線を算出する曲率線算出手段と、

前記主曲率、前記主方向、前記曲率線、並びに前記一次規格量及び二次規格量に基づいて算出されるガウス曲率及び平均曲率からなる前記曲面の特徴を示す5つの特徴量のうち、1または2以上の特徴量の変化パターンによって規定される変形の基準点または基準線となる点または線の抽出を行う特徴点・特徴線解析手段と、

前記一次規格量及び二次規格量より算出される曲率に基づいてガース長さを算出するガース長さ算出手段と

をさらに具備することを特徴とする請求項1に記載のCADシステム。

【請求項 3】 前記特徴点または特徴線を変形の基準として、前記曲率線方向に前記ガース長さ分だけ前記曲率線を変形させ、前記メッシュまたは前記曲面を再生する再生手段

をさらに具備することを特徴とする請求項2に記載のCADシステム。

【請求項 4】 前記再生したメッシュまたは曲面から曲面上の複数の点列を

抽出し、該点列を他のCADシステムにおける図形表現アルゴリズムにしたがつて、変換する変換手段

をさらに具備することを特徴とする請求項3に記載のCADシステム。

【請求項5】 コンピュータに、

曲面上の複数の点列を抽出する点列情報抽出処理と、

前記点列から他のCADシステムを用いて曲面を生成し、該曲面を所定数のメッシュに分割する分割処理と、

該メッシュの接平面を形成する接線ベクトルによって定義される一次規格量を算出する一次規格量算出処理と、

前記接線ベクトルと前記メッシュの法線ベクトルによって定義される二次規格量を算出する二次規格量算出処理と、

前記点列情報及び前記一次規格量並びに前記二次規格量を記憶する記憶処理とを実行させるためのCADプログラム。

【請求項6】 前記一次規格量及び二次規格量に基づいて、前記メッシュの主曲率を算出する主曲率算出処理と、

前記主曲率に基づいて、前記メッシュの主方向を示す曲率線を算出する曲率線算出処理と、

前記主曲率、前記主方向、前記曲率線、並びに前記一次規格量及び二次規格量に基づいて算出されるガウス曲率及び平均曲率からなる前記曲面の特徴を示す5つの特徴量のうち、1または2以上の特徴量の変化パターンによって規定される変形の基準点または基準線となる点または線の抽出を行う特徴点・特徴線解析処理と、

前記一次規格量及び二次規格量より算出される曲率に基づいてガース長さを算出するガース長さ算出処理と

をさらにコンピュータに実行させるための請求項5に記載のCADプログラム

。

【請求項7】 前記特徴点または特徴線を変形の基準として、前記曲率線方向に前記ガース長さ分だけ前記曲率線を変形させ、前記メッシュまたは前記曲面を再生する再生処理

をさらにコンピュータに実行させるための請求項6に記載のCADプログラム

。 【請求項8】 前記再生したメッシュまたは曲面から曲面上の複数の点列を抽出し、該点列を他のCADシステムにおける図形表現アルゴリズムにしたがつて、変換する変換処理

をさらにコンピュータに実行させるための請求項7に記載のCADプログラム

。 【請求項9】 曲面上の複数の点列を抽出する点列情報抽出手段と、前記点列から他のCGシステムを用いて曲面を生成し、該曲面を所定数のメッシュに分割する分割手段と、

該メッシュの接平面を形成する接線ベクトルによって定義される一次規格量を算出する一次規格量算出手段と、

前記接線ベクトルと前記メッシュの法線ベクトルによって定義される二次規格量を算出する二次規格量算出手段と、

前記点列情報及び前記一次規格量並びに前記二次規格量を記憶する記憶手段とを具備することを特徴とするCGシステム。

【請求項10】 コンピュータに、
曲面上の複数の点列を抽出する点列情報抽出処理と、
前記点列から他のCGシステムを用いて曲面を生成し、該曲面を所定数のメッシュに分割する分割処理と、

該メッシュの接平面を形成する接線ベクトルによって定義される一次規格量を算出する一次規格量算出処理と、

前記接線ベクトルと前記メッシュの法線ベクトルによって定義される二次規格量を算出する二次規格量算出処理と、

前記点列情報及び前記一次規格量並びに前記二次規格量を記憶する記憶処理とを実行させるためのCGプログラム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、部材の形状を目標の曲面形状に変形するCADシステム及びCADプログラムに関する。

【0002】

【従来の技術】

今日、消費者の要求に応えるべく、企画から設計・生産のプロセスの短縮化が望まれている。設計・生産プロセスを効率化するために、CG (Computer Graphics) やCAD (Computer Aided Design) システムの利用が盛んに行われている。コンピュータ上で自動車や家庭電器製品等の複雑な曲線や曲面形状を持った形状を表現するために、従来、以下の処理方法が存在する

【0003】

一つ目はソリッドモデルであって、プリミティブと呼ばれる簡単な形状をコンピュータ内で保持し、その形状同士を組み合わせる操作を繰り返して、複雑な形状を表現する。プリミティブとは、例えば円柱、立方体、直方体、トーラス、球等であって、ソリッドモデルにおいてはこれらのプリミティブの集合演算によつて形状表現を行う。したがって、複雑な形状を作成するためには多くのステップを必要とするとともに、厳密な計算が必要となる。

【0004】

二つ目はサーフェスモデルであって、bezier、b-spline、有理bezier、NURBS (Non-Uniform Rational b-spline) などのアルゴリズムを利用することにより、線や面を切る、つなげるといった操作を行い、この繰り返しにより複雑な自由曲線・曲面を表現する。

【0005】

しかし、上述のソリッドモデルやサーフェスモデルでは表現上では問題がないモデルであっても、CAMやCAE等の下流アプリケーションで使用する場合に問題が発生することがある。この原因は、作成したCGがサポートするサポート要素と他のCG、CAD及び下流アプリケーションがサポートするサポート要素の違いや形状定義の違い等であり、これらの違いを修正するranslate等の

アプリケーションを介してモデルの補正を行う（特許文献3等を参照）。

【0006】

【特許文献1】

特開2001-250130号公報

【特許文献2】

特開平11-65628号公報

【特許文献3】

特開平10-69506号公報

【特許文献4】

特開平4-134571号公報

【特許文献5】

特開平4-117572号公報

【特許文献6】

特開平1-65628号公報

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、上述の補正作業は設計・生産プロセスの短縮化を図る上では、極めて非効率的である。補正が必要となる理由は、個々のケースによって様々であるが、特に生産過程において問題となる点は、従来のCGやCADシステムにおいては、ユーリッド幾何によってすべての曲線・曲面表現を近似しているである。例えば、図6に示す鞍型のタブシル面をスイープ操作によって生成する場合、鞍の裾部分の長い線と鞍の中心部分の短い線とが存在する。したがってこのスイープ操作は生成される曲面の連続性を保つように图形の伸縮を伴う変形となる。しかし、従来のCGやCADシステムにおいてはこの伸縮を考慮しておらず、内部表現としては円筒型として近似表現している。このため、実際にこういったユーリッド幾何で近似的に表現されるCGモデル、あるいはCADモデルをCAEに渡すと、ここで生じる誤差が生産上問題となる。

【0008】

本発明は、このような問題を解消すべく案出されたものであり、CGモデルあ

るいはCADモデルの利用価値を大幅に高めることができるとともに、設計・生産プロセスを効率化することができるCADシステム及びCADプログラムを提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】

請求項1に記載の発明は、曲面上の複数の点列を抽出する点列情報抽出手段と、前記点列から他のCADシステムを用いて曲面を生成し、該曲面を所定数のメッシュに分割する分割手段と、該メッシュの接平面を形成する接線ベクトルによって定義される一次規格量を算出する一次規格量算出手段と、前記接線ベクトルと前記メッシュの法線ベクトルによって定義される二次規格量を算出する二次規格量算出手段と、前記点列情報及び前記一次規格量並びに前記二次規格量を記憶する記憶手段とを具備することを特徴とする。

【0010】

請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の発明において、前記一次規格量及び二次規格量に基づいて、前記メッシュの主曲率を算出する主曲率算出手段と、前記主曲率に基づいて、前記メッシュの主方向を示す曲率線を算出する曲率線算出手段と、前記主曲率、前記主方向、前記曲率線、並びに前記一次規格量及び二次規格量に基づいて算出されるガウス曲率及び平均曲率からなる前記曲面の特徴を示す5つの特微量のうち、1または2以上の特微量の変化パターンによって規定される変形の基準点または基準線となる点または線の抽出を行う特徴点・特徴線解析手段と、前記一次規格量及び二次規格量より算出される曲率に基づいてガース長さを算出するガース長さ算出手段とをさらに具備することを特徴とする。

【0011】

請求項3に記載の発明は、請求項2に記載の発明において、前記特徴点または特徴線を変形の基準として、前記曲率線方向に前記ガース長さ分だけ前記曲率線を変形させ、前記メッシュまたは前記曲面を再生する再生手段とをさらに具備することを特徴とする。

【0012】

請求項4に記載の発明は、請求項3に記載の発明において、前記再生したメッ

シユまたは曲面から曲面上の複数の点列を抽出し、該点列を他のCADシステムにおける図形表現アルゴリズムにしたがって、変換する変換手段をさらに具備することを特徴とする。

【0013】

請求項5に記載の発明は、コンピュータに、曲面上の複数の点列を抽出する点列情報抽出処理と、前記点列から他のCADシステムを用いて曲面を生成し、該曲面を所定数のメッシュに分割する分割処理と、該メッシュの接平面を形成する接線ベクトルによって定義される一次規格量を算出する一次規格量算出処理と、前記接線ベクトルと前記メッシュの法線ベクトルによって定義される二次規格量を算出する二次規格量算出処理と、前記点列情報及び前記一次規格量並びに前記二次規格量を記憶する記憶処理とを実行させるためのCADプログラムである。

【0014】

請求項6に記載の発明は、請求項5に記載の発明において、前記一次規格量及び二次規格量に基づいて、前記メッシュの主曲率を算出する主曲率算出処理と、前記主曲率に基づいて、前記メッシュの主方向を示す曲率線を算出する曲率線算出処理と、前記主曲率、前記主方向、前記曲率線、並びに前記一次規格量及び二次規格量に基づいて算出されるガウス曲率及び平均曲率からなる前記曲面の特徴を示す5つの特徴量のうち、1または2以上の特徴量の変化パターンによって規定される変形の基準点または基準線となる点または線の抽出を行う特徴点・特徴線解析処理と、前記一次規格量及び二次規格量より算出される曲率に基づいてガース長さを算出するガース長さ算出処理とをさらにコンピュータに実行させるためのCADプログラムである。

【0015】

請求項7に記載の発明は、請求項6に記載の発明において、前記特徴点または特徴線を変形の基準として、前記曲率線方向に前記ガース長さ分だけ前記曲率線を変形させ、前記メッシュまたは前記曲面を再生する再生処理をさらにコンピュータに実行させるためのCADプログラムである。

【0016】

請求項8に記載の発明は、請求項7に記載の発明において、前記再生したメッ

シユまたは曲面から曲面上の複数の点列を抽出し、該点列を他のCADシステムにおける図形表現アルゴリズムにしたがって、変換する変換処理をさらにコンピュータに実行させるためのCADプログラムである。

【0017】

請求項9に記載の発明は、曲面上の複数の点列を抽出する点列情報抽出手段と、前記点列から他のCGシステムを用いて曲面を生成し、該曲面を所定数のメッシュに分割する分割手段と、該メッシュの接平面を形成する接線ベクトルによって定義される一次規格量を算出する一次規格量算出手段と、前記接線ベクトルと前記メッシュの法線ベクトルによって定義される二次規格量を算出する二次規格量算出手段と、前記点列情報及び前記一次規格量並びに前記二次規格量を記憶する記憶手段とを具備することを特徴とする。

【0018】

請求項10に記載の発明は、コンピュータに、曲面上の複数の点列を抽出する点列情報抽出処理と、前記点列から他のCGシステムを用いて曲面を生成し、該曲面を所定数のメッシュに分割する分割処理と、該メッシュの接平面を形成する接線ベクトルによって定義される一次規格量を算出する一次規格量算出処理と、前記接線ベクトルと前記メッシュの法線ベクトルによって定義される二次規格量を算出する二次規格量算出処理と、前記点列情報及び前記一次規格量並びに前記二次規格量を記憶する記憶処理とを実行させるためのCGプログラムである。

【0019】

【発明の実施の形態】

以下、本発明のCADシステムの一実施形態について図面を参照して説明する。図1は本実施形態のCADシステムの構成を示す構成図である。本実施形態のCADシステムは、CPU等の中央演算処理装置（図示せず）、ROMやRAM等の記憶メモリ（図示せず）、データベース10、画像表示処理部11、表示部12、出力部13、通信部（図示せず）からなる。

CPUは、ROMに記憶された解析プログラム1、変換プログラム2、再生プログラム3を読み出して、自由曲面解析、変換、再生に関する一連の処理を実行する。RAMは、CPUが一次的にデータを記憶させるための半導体メモリであ

る。

【0020】

解析プログラム1は、CATなどによる3次元形状物の実測値データ20や他のCADフォーマットデータ21（例えば、ソリッドモデル、bezier、b-spline、有理bezier、NURBS等のサーフェスモデルで表現された図形データ）を読み込んで、点列情報テーブル30、一次規格量テーブル31、二次規格量テーブル32を作成し、データベース10に記憶させる処理をCPUに実行させるプログラムである。

点列情報テーブル30は、図2に示すように

【数1】

$$s(u, v) = \{x(u, v), y(u, v), z(u, v)\} \quad 0 \leq u, v \leq 1 \quad \cdots (\text{式1})$$

のパラメータ形式で表示される曲面上の点列情報（u、v）からなる。例えば、 $u = 0, 1/m, 2/m, \dots, m-1/m$ (m は自然数) であり、 $v = 0, 1/n, 2/n, \dots, n-1/n$ (n は自然数) とすると、図2に示す曲面は $m \times n$ のメッシュに分割される。この場合、点列情報（u、v）は、メッシュID 1～ID_{mn}までの mn 個のデータ列となる。

【0021】

一次規格量テーブル31は、以下の式により導出される一次規格量E, F, Gからなる。上述のuとvに関数関係がある場合、 $s(u, v)$ は曲面上の曲線を表し、偏導関数 $\partial s / \partial u = S_u$ は、 $u =$ 一定の曲線の接線ベクトルを表し、偏導関数 $\partial s / \partial v = S_v$ は、 $v =$ 一定の曲線の接線ベクトルを表す。このとき、基本ベクトル S_u, S_v は、曲面の接平面を形成する。また、曲面上の2点 $s(u, v)$ から $s(u + du, v + dv)$ を結ぶベクトル ds は

【数2】

$$ds = s_u du + s_v dv \quad \cdots (\text{式2})$$

で表される。ここで ds の絶対値の自乗は

【数3】

$$(ds)^2 = ds \cdot ds = s_u^2 (du)^2 + 2s_u \cdot s_v du dv + s_v^2 (dv)^2 \quad \cdots (\text{式3})$$

で表され、曲面の基本ベクトルより、上述の一次規格量が次式で定義される。

【数4】

$$E = s_u^2, F = s_u \cdot s_v, G = s_v^2 \quad \cdots (\text{式4})$$

上述の一次規格量 E, F, G は、このように各メッシュに一意に定まり、一次規格量テーブル 3 1 は、メッシュ ID 1 ~ ID m n それぞれに対する値を格納する。

また上記式3及び式4をまとめると、

【数5】

$$ds^2 = E (du)^2 + 2F du dv + G (dv)^2 \quad \cdots (\text{式5})$$

となる。

【0022】

二次規格量テーブル 3 2 は、以下の式により導出される二次規格量 L, M, N からなる。基本ベクトル s_u , s_v がなす角を ω とすると、これらの内積 F と、基本ベクトルのベクトル積の絶対値 H は、一次規格量を用いて以下のように表される。

【数6】

$$F = |s_u| \cdot |s_v| \cos\omega = (\sqrt{EG}) \cos\omega \quad \cdots (\text{式6})$$

【数7】

$$\begin{aligned} H &= |s_u \times s_v| = |s_u| \cdot |s_v| \sin\omega \\ &= \sqrt{EG(1 - \cos^2\omega)} = \sqrt{EG - F^2} \quad \cdots (\text{式7}) \end{aligned}$$

【0023】

この算出値 H を用いて、曲面上の単位法線ベクトル n は以下の式で表される。

【数8】

$$n = \frac{(s_u \times s_v)}{H} \quad \cdots (\text{式8})$$

また、図3に示すように、曲面上の点Pにおける接線ベクトルの線束はこの接平面内に存在し、単位接線ベクトルtの1つは、以下の式で表される。

【数9】

$$t = \frac{ds}{ds} = s_u \left(\frac{du}{ds} \right) + s_v \left(\frac{dv}{ds} \right) \quad \cdots (\text{式9})$$

図3に示すように、このtとnで定まる平面を法平面という。

この法断面上の点Pにおける曲率κを法曲率といい、tを法断面の弧長sで微分すると、

【数10】

$$\begin{aligned} \frac{dt}{ds} &= s_u \frac{d^2u}{ds^2} + s_v \frac{d^2v}{ds^2} + \\ &s_{uu} \left(\frac{du}{ds} \right)^2 + 2s_{uv} \left(\frac{du}{ds} \right) \left(\frac{dv}{ds} \right) + s_{vv} \left(\frac{dv}{ds} \right)^2 \end{aligned} \quad \cdots (\text{式10})$$

となる。両辺に法線ベクトルを掛けて、以下に示す二次規格量

【数11】

$$L = n \cdot s_{uu}, M = n \cdot s_{uv}, N = n \cdot s_{vv} \quad \cdots (\text{式11})$$

を導入すると、

【数12】

$$(n \cdot n)\kappa = L \left(\frac{du}{ds} \right)^2 + 2M \left(\frac{du}{ds} \right) \left(\frac{dv}{ds} \right) + N \left(\frac{dv}{ds} \right)^2 \quad \cdots (\text{式12})$$

となる。

上述の二次規格量 L, M, N は、このように各メッシュに一意に定まり、二次規格量テーブル 3 2 は、メッシュ ID 1 ~ IDmn それぞれに対する値を格納する。

なお、式 5 を式 1 2 に代入すると、以下の式が得られる。

【数 1 3】

$$\kappa = \frac{L(du)^2 + 2Mdudv + N(dv)^2}{E(du)^2 + 2Fdudv + G(dv)^2} \cdots (\text{式 } 13)$$

以上によって一次規格量及び二次規格量から法曲率が算出される。

【0 0 2 4】

変換プログラム 2 は、点列情報テーブル 3 0、一次規格量テーブル 3 1、二次規格量テーブル 3 2 より自由曲面に必要な情報を読み出して、自由曲面データを生成し、他の CAD アプリケーションが解釈できる形に変形する処理をコンピュータに実行させるプログラムである。

再生プログラム 3 は、変換プログラム 2 と同様に、点列情報テーブル 3 0、一次規格量テーブル 3 1、二次規格量テーブル 3 2 より自由曲面に必要な情報を読み出して自由曲面データを生成し、画像表示処理部 1 1 に出力する処理をコンピュータに実行させるプログラムである。

【0 0 2 5】

データベース 1 0 は、上述の点列情報テーブル 3 0、一次規格量テーブル 3 1、二次規格量テーブル 3 2 を記憶しており、解析プログラム 1 の出力結果が後述するメッシュ ID と関連付けて書き込まれる。

画像表示処理部 1 1 は、再生プログラム及び他の CAD アプリケーションからの出力結果の画像表示処理を行う。

表示部 1 2 は、画像表示処理部 1 1 の出力結果を表示する。

出力部 1 3 は、画像表示処理部 1 1 の出力結果を通信部や他の記録媒体等に出力する。通信部は、LAN やインターネット等のネットワークを介して他のサーバやクライアントにデータベース 1 に記憶された点列情報、一次規格量、二次規

格量等のデータの送受信を行う。

【0026】

次に本実施形態のCADシステムによる自由曲面解析、変換、再生に関する一連の処理の流れについて図面を参照して説明する。図4は、解析プログラム1による自由曲面解析からデータ転送が行われるまでの処理の流れを示すフローチャートである。

ユーザの操作により、実測値データ20や他のCADフォーマットデータ21の解析命令を受けて、CPUはROMより解析プログラム1を読み出して、自由曲面解析処理を実行する。まずCPUは、実測値データ20や他のCADフォーマットデータ21が保持する、2次元NURBS面や双三次曲面などの曲面上の複数の点列を抽出する処理を行う。そして、この点列から他のCADシステムを用いて曲面を生成し（図4のステップS1）、図2に示すように曲面を所定数m nのメッシュに分割した後、各メッシュ部分を基本ベクトル S_u 、 S_v で規格化する。規格化時に生成される点列情報（u、v）は、データベース10の保持する点列情報テーブル30にメッシュIDとともに関連付けられて書き込まれる。

【0027】

次にCPUは、微分幾何解析処理を実行する。すなわち、メッシュの接平面を形成する基本ベクトル S_u 、 S_v によって定義される一次規格量E、F、Gを算出する処理を行う。算出される一次規格量E、F、Gは、点列情報と同様に、データベース10の保持する一次規格量テーブル31にメッシュIDとともに関連付けられて書き込まれる。またCPUは、基本ベクトル S_u 、 S_v とメッシュの単位法線ベクトルnによって定義される二次規格量L、M、Nを算出する処理を行う。算出される二次規格量L、M、Nは、一次規格量E、F、Gと同様に、データベース10の保持する二次規格量テーブル32にメッシュIDとともに関連付けられて書き込まれる。

【0028】

またCPUは、上述のメッシュを表す微分方程式がそれぞれのメッシュの境界において連続であるための条件、言い換えればこの微分方程式が一意な解を持つための条件である積分可能条件を算出する処理を行う。

今、上述の曲面座標（ u 、 v ）を（ u^1 、 u^2 ）と置き換え、この点を p （ u^1 、 u^2 ）とする。 u^2 を固定し、 u^1 を動かしてできる曲線を u^1 曲線と呼び、 u^1 を固定し、 u^2 を動かしてできる曲線を u^2 曲線と呼ぶ時、曲面上の p （ u^1 、 u^2 ）点を始点とし、 u^1 曲線、 u^2 曲線に沿う接線ベクトルは以下のように計算できる。

【数14】

$$e_1 = \frac{\partial p}{\partial u^1}, e_2 = \frac{\partial p}{\partial u^2} \cdots (\text{式14})$$

そして、 e_1 、 e_2 より単位法線ベクトル n が次のように計算できる。

【数15】

$$n = \frac{e_1 \times e_2}{\|e_1 \times e_2\|} \cdots (\text{式15})$$

このようにして、3本のベクトル $\{e_1, e_2, n\}$ が曲面上の各点において定義される。

各点において、第1基本量 E 、 F 、 G を以下のように定義する。

【数16】

$$E = \|e_1\|^2, F = (e_1, e_2), G = \|e_2\|^2 \cdots (\text{式16})$$

そして、第1基本テンソル (g_{ij} 、 $i, j = 1, 2$) を以下のように定義する。

【数17】

$$g_{11} = E, g_{12} = g_{21} = F, g_{22} = G \cdots (\text{式17})$$

また、4個の数の組 g^{ij} 、 $i, j = 1, 2$ を次のように定義する。

【数18】

$$g^{11} = \frac{G}{EG - F^2}, g^{12} = g^{21} = -\frac{F}{EG - F^2}, g^{22} = \frac{E}{EG - F^2} \cdots (\text{式}18)$$

さらに、各点において第2基本量L、M、Nを以下のように定義する。

【数19】

$$L = \left(\frac{\partial^2 p}{\partial(u^1)^2}, n \right), M = \left(\frac{\partial^2 p}{\partial u^1 \partial u^2}, n \right), N = \left(\frac{\partial^2 p}{\partial(u^2)^2}, n \right) \cdots (\text{式}19)$$

そして、さらに第2基本テンソル (h_{ij} , $i, j = 1, 2$) を以下のように定義する。

【数20】

$$h_{11} = L, h_{12} = h_{21} = M, h_{22} = N \cdots (\text{式}20)$$

【0029】

今、動標構 $\{e_1, e_2, n\}$ を曲面座標 (u^1, u^2) で微分すると、次の2式（式21のガウスの式及び式22のワインガルテンの式）で示される曲面の構造方程式を得る。

【数21】

$$\frac{\partial e_i}{\partial u^j} = \left\{ \begin{matrix} k \\ i \ j \end{matrix} \right\} e_k + h_{ij}n \cdots (\text{式}21)$$

【数22】

$$\frac{\partial n}{\partial u^i} = -g^{jk}h_{ij}e_k \cdots (\text{式}22)$$

【数23】

$$\left\{ \begin{matrix} k \\ i \ j \end{matrix} \right\} = \frac{1}{2} g^{kl} \left(\frac{\partial g_{lj}}{\partial u^i} + \frac{\partial g_{li}}{\partial u^j} + \frac{\partial g_{ij}}{\partial u^l} \right) \cdots (\text{式23})$$

ただし、式23はクリストッフェルの記号を示す。

この構造方程式21、22の積分可能条件は次の2式（式24のガウスの方程式及び式25のマイナル・コダツツイの方程式）で示される。

【数24】

$$R^l_{jkl} = g^{im} (h_{jk}h_{lm} - h_{jl}h_{km}) \cdots (\text{式24})$$

【数25】

$$\frac{\partial h_{ij}}{\partial u^k} - \frac{\partial h_{ik}}{\partial u^j} + \left\{ \begin{matrix} l \\ i \ j \end{matrix} \right\} h_{lk} - \left\{ \begin{matrix} l \\ i \ k \end{matrix} \right\} h_{lj} = 0 \cdots (\text{式25})$$

【数26】

$$R^l_{jkl} = \frac{\partial}{\partial u^l} \left\{ \begin{matrix} i \\ j \ k \end{matrix} \right\} - \frac{\partial}{\partial u^k} \left\{ \begin{matrix} i \\ j \ l \end{matrix} \right\} + \left\{ \begin{matrix} m \\ j \ k \end{matrix} \right\} \left\{ \begin{matrix} i \\ m \ l \end{matrix} \right\} - \left\{ \begin{matrix} m \\ j \ l \end{matrix} \right\} \left\{ \begin{matrix} i \\ m \ k \end{matrix} \right\} \cdots (\text{式26})$$

ただし、式26はリーマン・クリストッフェルの曲率テンソルを示す。

【0030】

第1基本テンソル (g_{ij} , $i, j = 1, 2$) と第2基本テンソル (h_{ij} , $i, j = 1, 2$) が曲面座標 (u^1, u^2) の関数として与えられ、これらが上述のガウスの方程式及びマイナル・コダツツイの方程式を満たす場合、そのような g_{ij} , h_{ij} を持つ曲面の形は一意に決まる（ボネの基本定理を参照）ので、それぞれのメッシュはC2連続となる。

CPUはこれらの演算処理を行い、上述の積分可能条件を算出する（ステップS2）。

【0031】

次にCPUは、曲率線解析処理と、特徴線解析処理及び曲率・ガース長さ変換

処理を実行する（ステップS3）。まず曲率線解析処理により、一次規格量E, F, G及び二次規格量L, M, Nに基づいて、メッシュにおける主曲率 κ_1 , κ_2 を算出する（ステップS4）。すなわち、まず上述の曲率 κ の極値を算出する。図3に示す法平面と曲面との交線である法断面の形状は、その接線方向とともに変化し、それに伴って法曲率も変化する。この形状は法平面を半回転させたところでもとの状態に戻る。今、 γ を

【数27】

$$\gamma = \frac{dv}{du} \cdots (\text{式27})$$

とおき、さらに κ を γ の関数 $\kappa(\gamma)$ と書き直すと、

【数28】

$$\{L - \kappa(\gamma) \cdot E\} + 2\{M - \kappa(\gamma) \cdot F\}\gamma + \{N - \kappa(\gamma) \cdot G\}\gamma^2 = 0 \cdots (\text{式28})$$

となる。この γ の2次式より $d\kappa(\gamma)/d\gamma = 0$ において、 $\kappa(\gamma)$ は極値を取る。そして、この極値条件のもとで、式15を微分し、 κ と γ を $(\kappa\sim)$ と $(\gamma\sim)$ と書き換えると、

【数29】

$$(M - \tilde{\kappa}F) + (N - \tilde{\kappa}G)\tilde{\gamma} = 0 \cdots (\text{式29})$$

を得る。そして、数16に代入すると、

【数30】

$$(L - \tilde{\kappa}E) + (M - \tilde{\kappa}F)\tilde{\gamma} = 0 \cdots (\text{式30})$$

を得る。これらの式より以下の関係式が得られる。

【数31】

$$\tilde{\gamma} = \frac{-(M - \tilde{\kappa}F)}{(N - \tilde{\kappa}G)} = \frac{-(L - \tilde{\kappa}E)}{(M - \tilde{\kappa}F)} \cdots (\text{式31})$$

【数3 2】

$$\tilde{\kappa} = \frac{(M + \tilde{\gamma}N)}{(F + \tilde{\gamma}G)} = \frac{(L + \tilde{\gamma}M)}{(E + \tilde{\gamma}F)} \cdots (\text{式32})$$

式18を変形すると、

【数3 3】

$$(EG - F^2)\tilde{\kappa}^2 - (EN + LG - 2MF)\tilde{\kappa} + LN - M^2 = 0 \cdots (\text{式33})$$

が得られる。 $\kappa \sim 2$ の係数は、式7より正であり、この根を κ_1 、 κ_2 とする
と、図5に示すように、この値が主曲率となる。

【0032】

次に主曲率に基づいてガウス曲率または平均曲率を算出する（ステップS5）
。すなわち、2次方程式の根と係数の関係より、

【数3 4】

$$K_m = \frac{1}{2}(\kappa_1 + \kappa_2) = \frac{1}{2} \frac{(EN + LG - 2MF)}{(EG - F^2)} \cdots (\text{式34})$$

【数3 5】

$$K_g = \kappa_1\kappa_2 = \frac{(LN - M^2)}{(EG - F^2)} \cdots (\text{式35})$$

が表現される。ここで、 K_m 、 K_g はそれぞれ平均曲率及びガウス曲率である。 $K_g = 0$ となるのは、図6に示すように、曲面が可展面となる場合であり、曲面上の曲率線は直線になる。本実施形態においては、このガウス曲率が0となる点を後述する変形の基準点とする。

この点以外に変形の基準点として適当な点として、例えば、曲率線、境界線（稜線）、図7に示す等傾斜直交線、図8に示す主曲率極値線、図9に示す傾斜極値線、臍点を選択してもよい。これらは、曲面の特徴を示す特徴量である主曲率

、主方向、ガウス曲率、平均曲率、曲率線のうち、1または2以上の特徴量の変化パターンによって規定される変形の基準点または基準線となる点または線であり、一次規格量及び二次規格量に基づいて算出可能である。

【0033】

また、主曲率に基づいて、メッシュの主方向を示す曲率線を算出する。すなわち、式19より κ ～を消去すると、

【数36】

$$(MG - NF)\tilde{\gamma}^2 + (GL - NE)\tilde{\gamma} + FL - ME = 0 \quad \cdots(\text{式36})$$

または、

【数37】

$$(MG - NF)dv^2 + (GL - NE)dudv + (FL - ME)du^2 = 0 \quad \cdots(\text{式37})$$

を得る。これら2式はともに、曲率線の式であり、2次方程式であるので、 γ_1 、 γ_2 は以下の関係がある。

【数38】

$$\gamma_1 + \gamma_2 = \frac{-(GL - NE)}{(MG - NF)}, \quad \gamma_1\gamma_2 = \frac{(FL - ME)}{(MG - NF)} \quad \cdots(\text{式38})$$

曲面上の点において、 γ_1 、 γ_2 で決まる方向において、曲率は極値を取る。曲面上の接線ベクトルは、 $(S_u du + S_v dv)$ であり、 γ_1 、 γ_2 に対応する2つの接線ベクトルの内積は、

【数39】

$$(ds)_1 \cdot (ds)_2 = \{(S_u + S_v\gamma_1) \cdot (S_u + S_v\gamma_2)\}(du)_1(dv)_2 \quad \cdots(\text{式39})$$

となり、この{}内を変換すると、

【数40】

$$\{E(MG - NF) - F(GL - NE) + G(FL - ME)\} / (MG - NF) \cdots \text{(式40)}$$

はゼロとなる。すなわち、主曲率の法断面の2つの接線方向は、直交している事が分かる。この方向は主方向と呼ばれ、この主方向と曲面上の接線が一致する場合、これが図10に示す曲率線となる。

以上により、メッシュの主方向を示す曲率線の算出処理が行われる。

【0034】

次に曲率・ガース長さ変換処理を実行する（ステップS6）。すなわち、CPUは、一次規格量E, F, G及び二次規格量L, M, Nに基づいてより算出される曲率に基づいてガース長さを算出する。上述の曲率線の算出処理によって算出された曲率線に沿って、曲率（1/r）から曲率半径rを算出し、曲率線のガース長さを算出区間毎に伸縮させる。

以上により、解析処理が行われる。

【0035】

次に、CPUは、ステップS1及びステップS2で作成、抽出された点列情報及び一次規格量、二次規格量が収集されたことを受けて（ステップS7でYes）曲面データ転送処理を行う（ステップS9）。一方、これらの情報が揃わない場合、データベース評価処理を行う（ステップS7でNo）。すなわち、ステップS4～S6で算出された主方向、基準位置（点や線等）、変形量に基づいて再生される形状と、点列情報及び一次規格量、二次規格量に基づいて再生される形状を比較し、これらが一致する場合は（ステップS8でYes）、曲面データ転送処理を行う（ステップS9）。また、これらが一致しない場合は（ステップS8でNo）、近似補完精度向上処理を行う。すなわち、2階微分可能となるよう元の曲面を近似補完し、再度ステップS1から上述の処理を繰り返す。そして、ステップS8における比較評価が一致した段階で、曲面データ転送処理に移行する。

【0036】

曲面データは図1に示す変換プログラム2、または再生プログラム3に対して転送される。CPUは変換命令を受けると、変換プログラム2を実行する。すなわち、まず特徴点または特徴線としてえらんだガウス曲率0となる点を変形の基準として、曲率線方向にガース長さ分だけ曲率線を伸縮変形させ、メッシュまたは曲面を再生する。そして、再生したメッシュまたは曲面から曲面上の複数の点列を抽出し、点列を他のCADシステムにおける図形表現アルゴリズムにしたがって変換する。変換された図形データは、他のCADアプリケーション22によって、再生された後、画像表示処理部11に出力される。画像表示処理部11は、CADアプリケーション22が出力するデータの表示処理を行い、これを表示部12に出力する。表示部12は、表示データの入力を受けて、これを表示する。

【0037】

また、CPUは再生命令を受けると、再生プログラム3を実行する。再生プログラムは、変換プログラムにおける変換処理を除いた処理をCPUに実行させる。すなわち、ガウス曲率0となる点を変形の基準として、曲率線方向にガース長さ分だけ曲率線を伸縮変形させ、メッシュまたは曲面を再生する。そして、再生した図形データを画像表示処理部11に出力し、表示処理後、表示部12において表示される。

【0038】

以上説明したように、本実施形態のCADシステムによれば、C2連続の連続性を保持して、自由曲面の解析、変換、再生を行うことができる効果が得られる。したがってCADモデルの利用価値を大幅に高めることができるとともに、設計・生産プロセスを効率化することができる効果が得られる。

【0039】

なお、本実施形態のCADシステムにおいては、CADモデルにおける自由曲面解析、変換、再生に関する一連の処理について説明したが、本発明のCADシステムはこれに限られるものではなく、上述したCGシステムやコンピュータを用いて画像表現を行うシステム及びプログラムにおいて適用可能である。

また、本実施形態のCADシステムにおいては、好適な例として図2に示すよ

うに曲面をメッシュに分割した後、基本ベクトル S_u 、 S_v で規格化し、点列情報 (u 、 v) を用いた u 、 v パラメータ表現による自由曲面解析、変換、再生を行ったが、本発明の CAD システムはこれに限られるものではなく、(x 、 y 、 z) 座標パラメータによる座標値を用いてもよい。

【0040】

上述の CAD システムは内部に、コンピュータシステムを有している。そして、上述した自由曲面解析、変換、再生に関する一連の処理の過程は、プログラムの形式でコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記憶されており、このプログラムをコンピュータが読み出して実行することによって、上記処理が行われる。ここでコンピュータ読み取り可能な記録媒体とは、磁気ディスク、光磁気ディスク、CD-ROM、DVD-ROM、半導体メモリ等をいう。また、このコンピュータプログラムを通信回線によってコンピュータに配信し、この配信を受けたコンピュータが当該プログラムを実行するようにしても良い。

【0041】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、曲面上の複数の点列を抽出する点列情報抽出手段と、点列から他の CG または CAD システムを用いて曲面を生成し、曲面を所定数のメッシュに分割する分割手段と、メッシュの接平面を形成する接線ベクトルによって定義される一次規格量を算出する一次規格量算出手段と、接線ベクトルとメッシュの法線ベクトルによって定義される二次規格量を算出する二次規格量算出手段と、点列情報及び一次規格量並びに二次規格量を記憶する記憶手段とを具備するので、自由曲線・曲面の連続性を保障する曲面理論を採用することで、CG モデルまたは CAD モデルの利用価値を大幅に高めることができるとともに、設計・生産プロセスを効率化することができる効果が得られる。

【0042】

また本発明によれば、一次規格量及び二次規格量に基づいて、メッシュの主曲率を算出する主曲率算出手段と、主曲率に基づいて、メッシュの主方向を示す曲率線を算出する曲率線算出手段と、主曲率、主方向、曲率線、並びに一次規格量及び二次規格量に基づいて算出されるガウス曲率及び平均曲率からなる曲面の特

徴を示す5つの特徴量のうち、1または2以上の特徴量の変化パターンによって規定される変形の基準点または基準線となる点または線の抽出を行う特徴点・特徴線解析手段と、一次規格量及び二次規格量より算出される曲率に基づいてガース長さを算出するガース長さ算出手段とをさらに具備するので、曲面理論によって解析されたCGまたはCADモデルを再生及び他のCGまたはCADモデルへ変換することができる効果が得られる。

【0043】

また本発明によれば、特徴点または特徴線を変形の基準として、曲率線方向にガース長さ分だけ曲率線を変形させ、メッシュまたは曲面を再生する再生手段とをさらに具備するので、曲面理論によって解析されたCGまたはCADモデルを再生することができる効果が得られる。

【0044】

また本発明によれば、再生したメッシュまたは曲面から曲面上の複数の点列を抽出し、点列を他のCGまたはCADシステムにおける図形表現アルゴリズムにしたがって、変換する変換手段をさらに具備するので、曲面理論によって解析されたCGまたはCADモデルを他のCGまたはCADモデルへ変換することができる効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本実施形態のCADシステムの構成を示す構成図である。

【図2】 曲面を $m \times n$ のメッシュに分割し、基本ベクトル S_u 、 S_v を定義する様子を示す説明図である。

【図3】 単位接線ベクトル t と単位法線ベクトル n の張る面を示す説明図である。

【図4】 解析プログラム1による自由曲面解析からデータ転送が行われるまでの処理の流れを示すフローチャートである。

【図5】 曲率変化の様子を示す説明図である。

【図6】 平均曲率とガウス曲率の分類を示す説明図である。

【図7】 等傾斜直交線を示す説明図である。

【図8】 主曲率極値線を示す説明図である。

【図9】 傾斜極値線とガウス曲率分布の様子を示す説明図である。

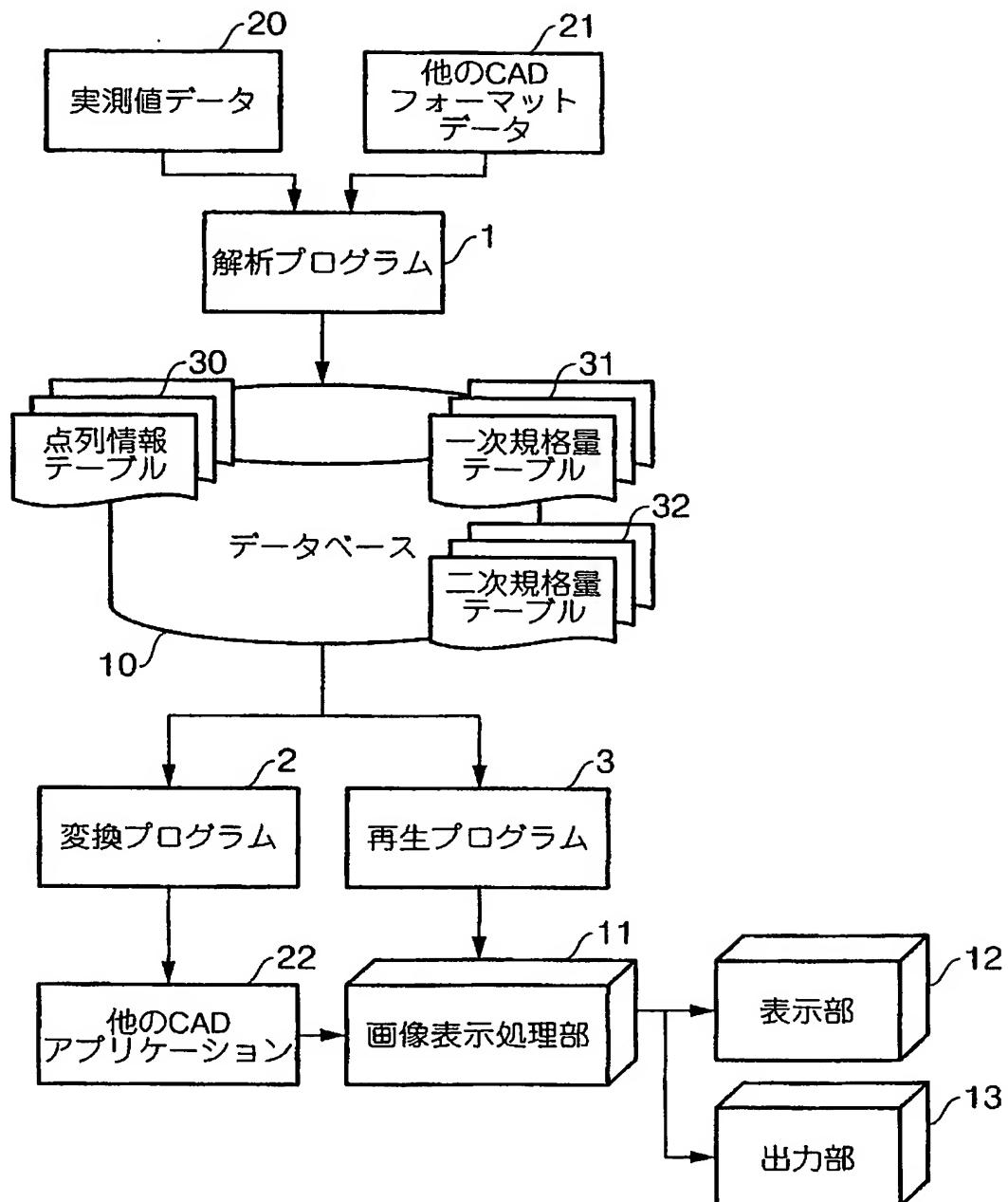
【図10】 曲率線を示す説明図である。

【符号の説明】

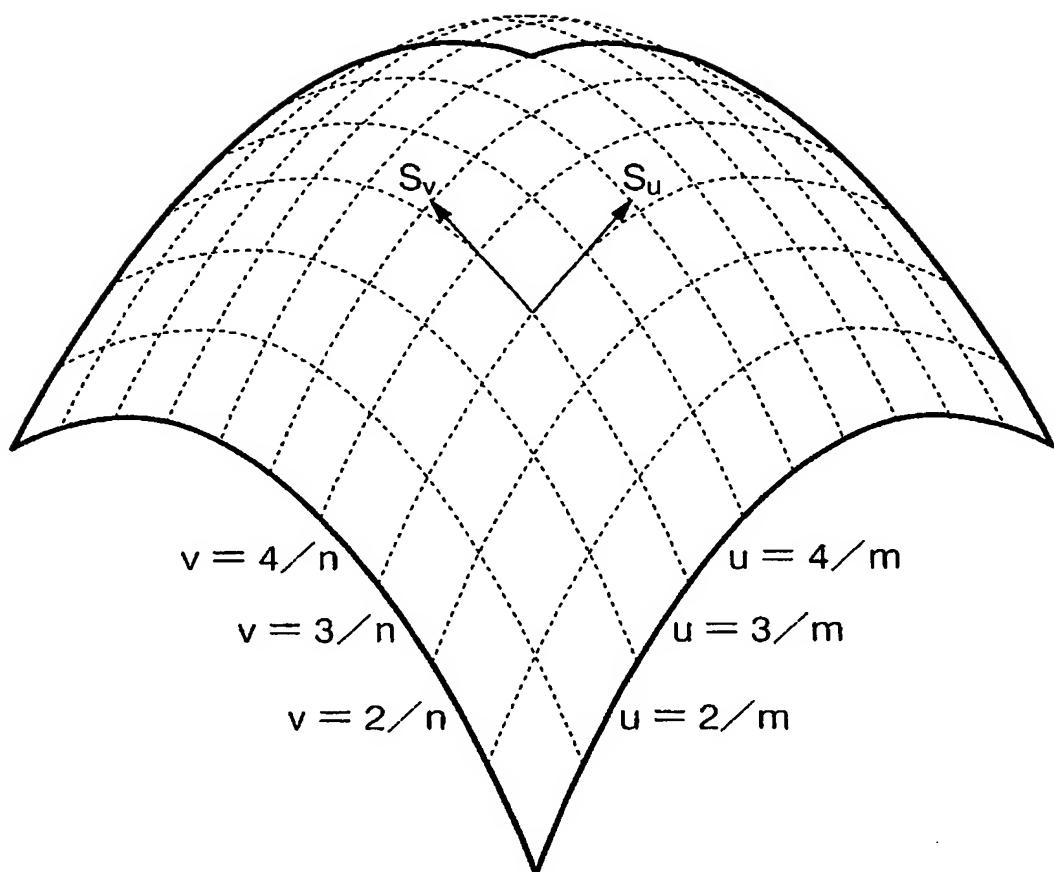
- 1 ……解析プログラム
- 2 ……変換プログラム
- 3 ……再生プログラム
- 1 0 ……データベース
- 1 1 ……画像表示処理部
- 1 2 ……表示部
- 1 3 ……出力部

【書類名】 図面

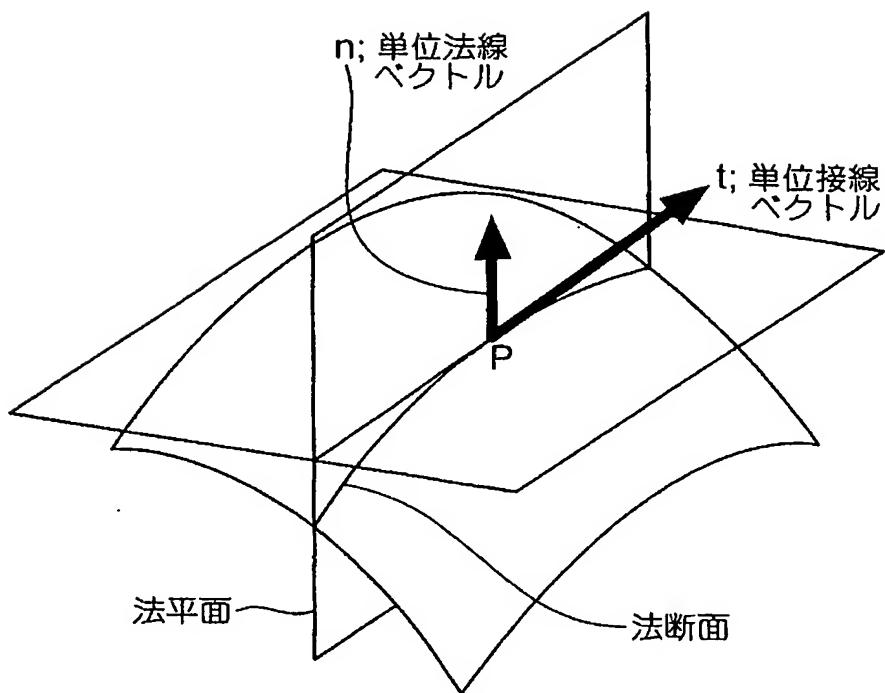
【図1】



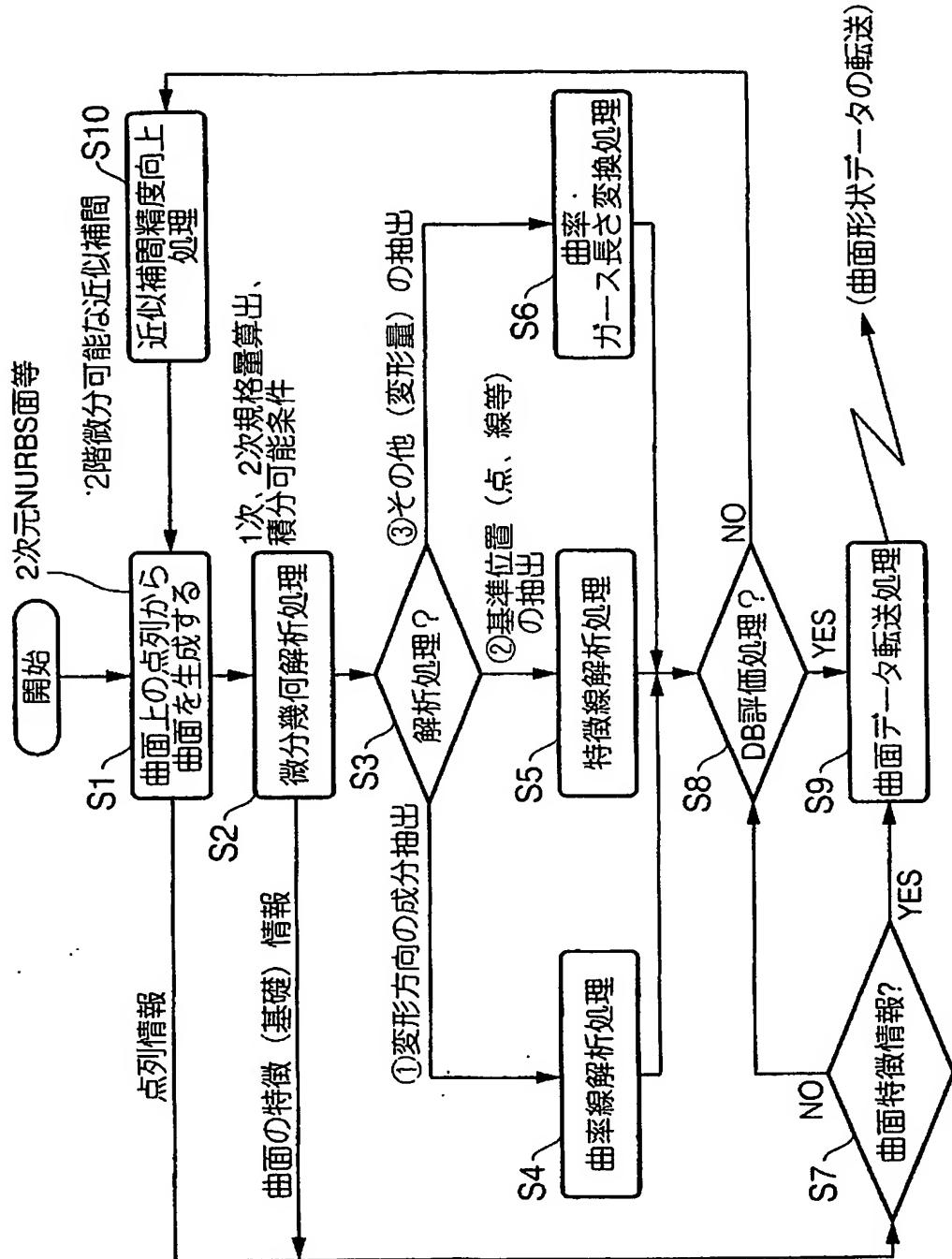
【図2】



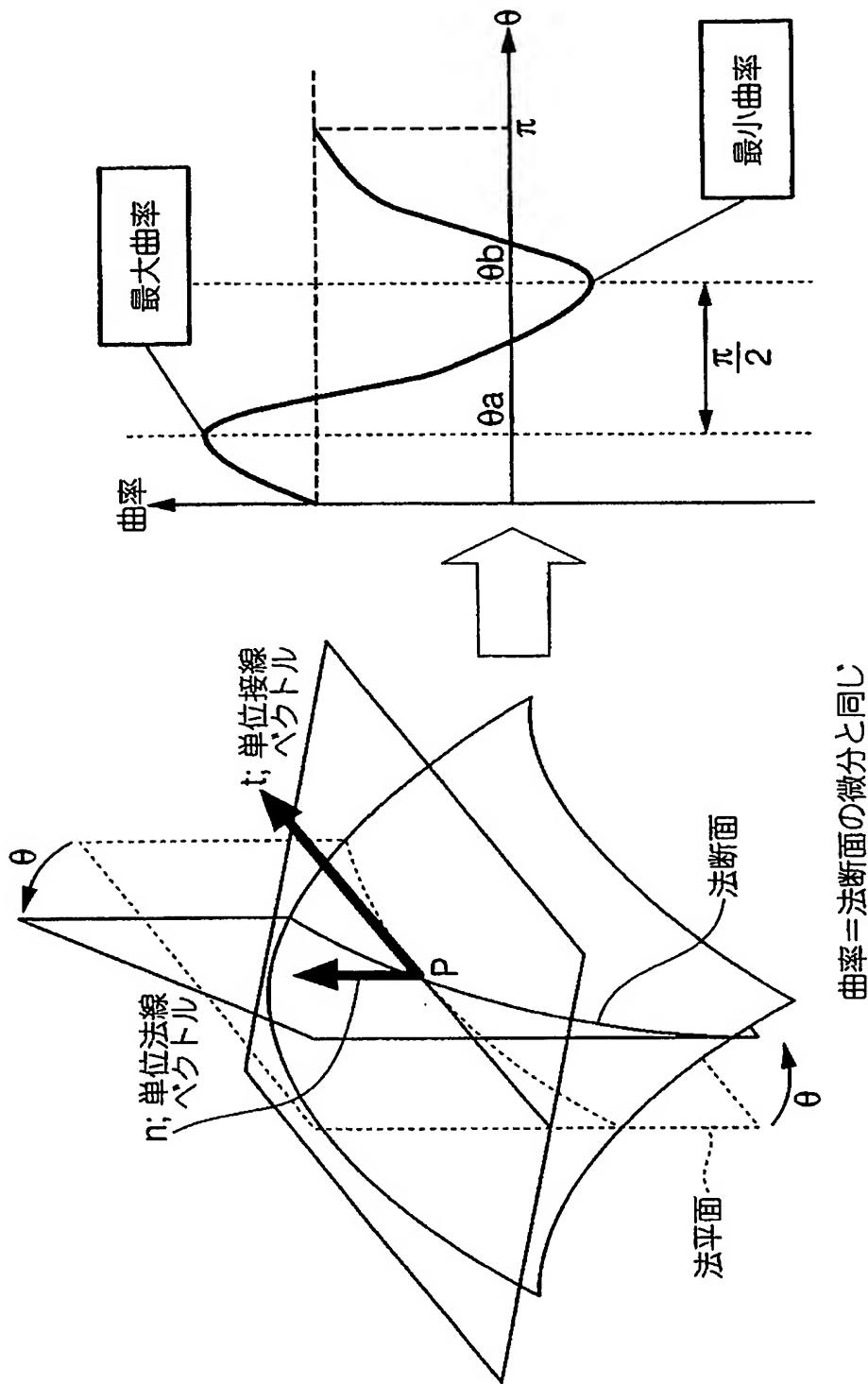
【図3】



【図 4】



【図5】



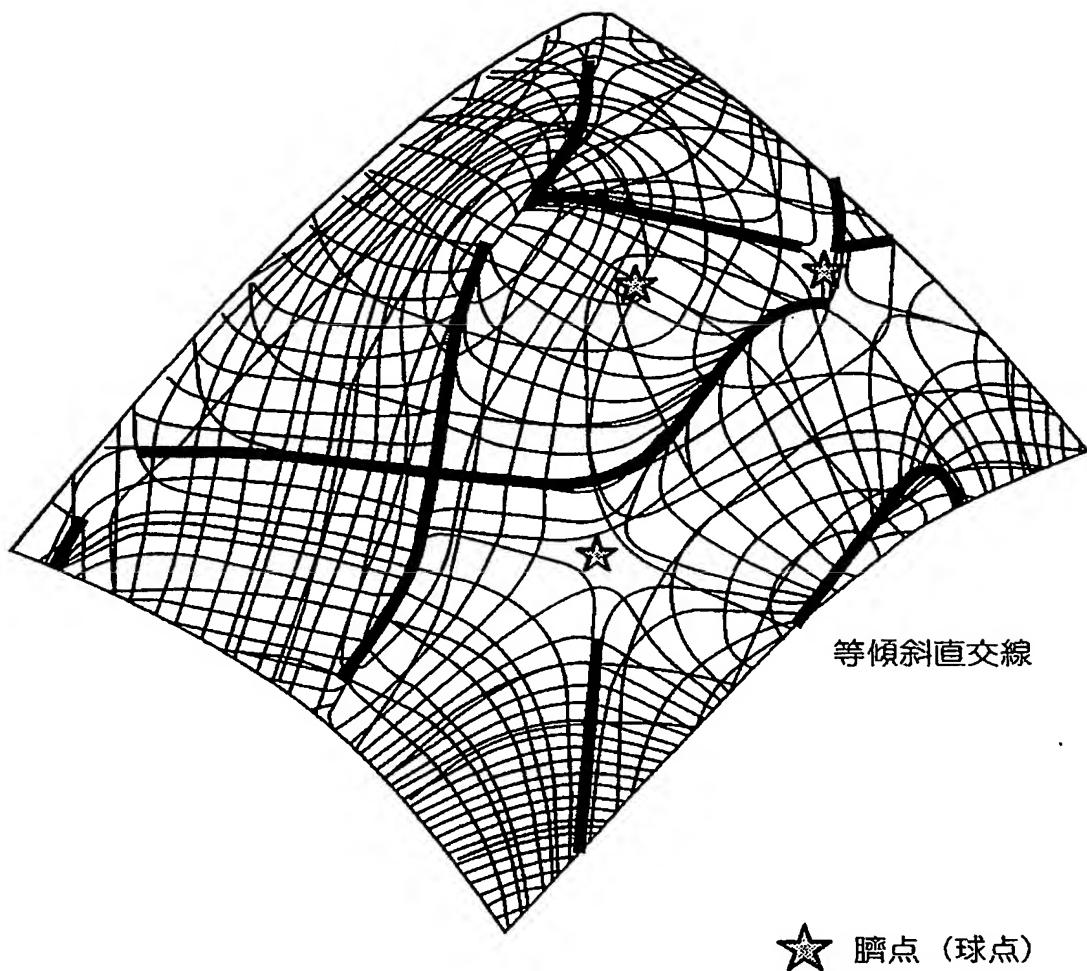
【図6】

可展面

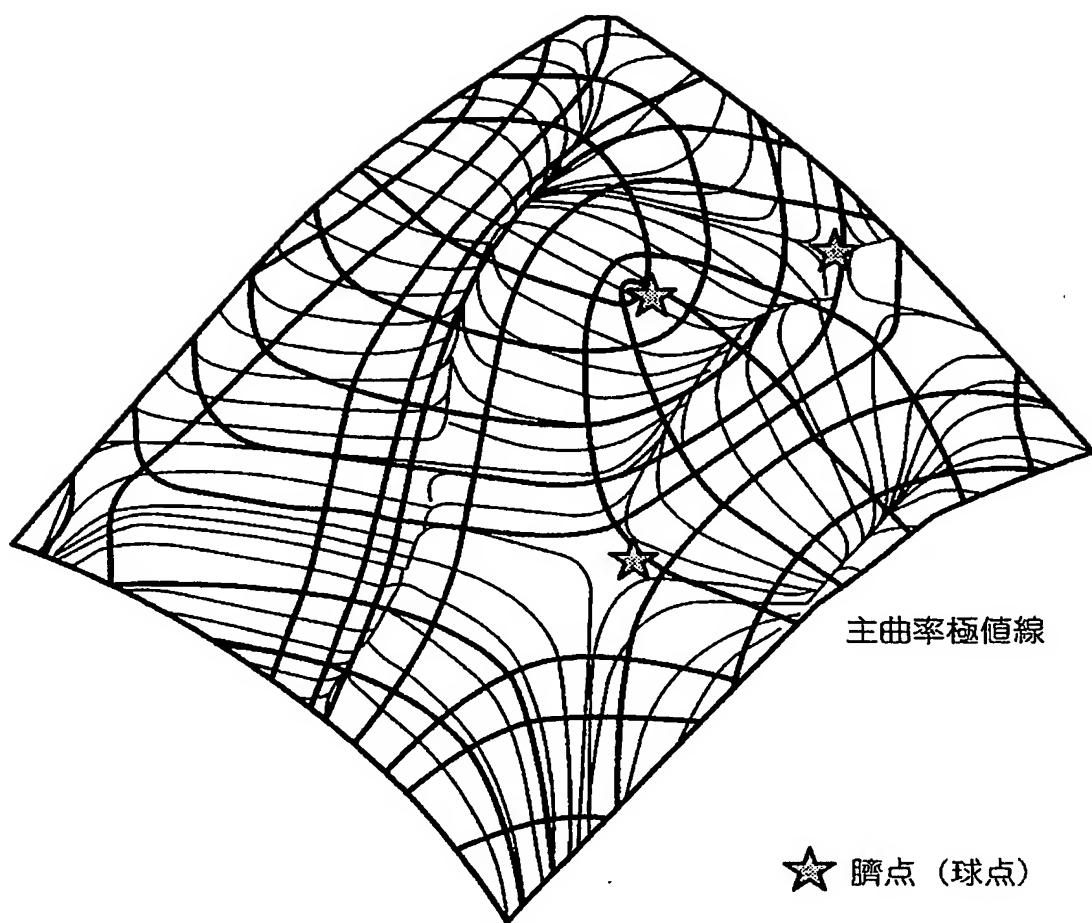
	$Kg > 0$	$Kg = 0$	$Kg < 0$
$Km > 0$	凹型	谷型	鞍型（谷）
$Km = 0$	(なし)	平面	鞍型（均等）
$Km < 0$	凸型	尾根型	鞍型（尾根）

平均曲率とガウス曲率による分類

【図7】

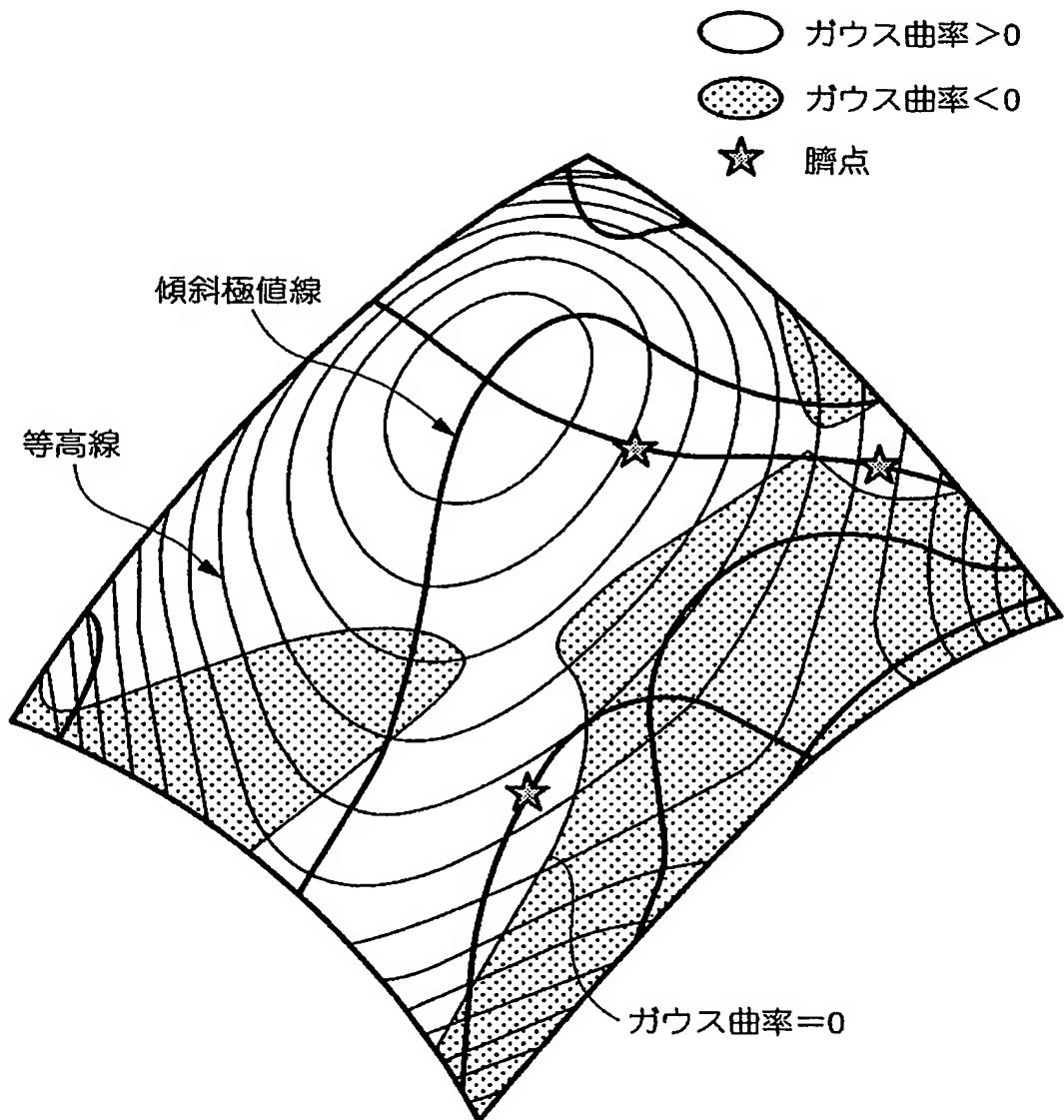


【図8】

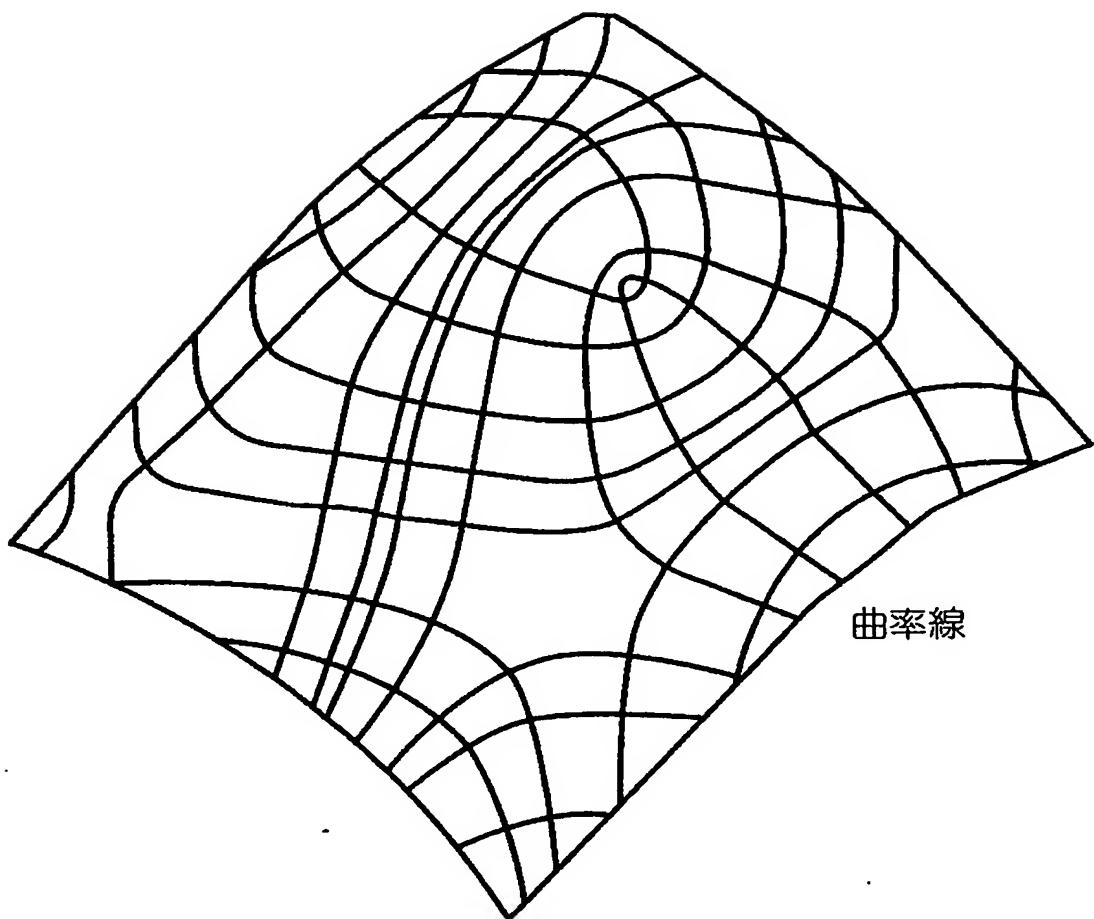


★ 脣点（球点）

【図9】



【図 10】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 自由曲線・曲面の連続性を保障する曲面理論を採用することで、 CAD モデルの利用価値を大幅に高めることができるとともに、設計・生産プロセスを効率化することができる CAD システム及び CAD プログラムを提供する。

【解決手段】 コンピュータに、曲面上の複数の点列を抽出する点列情報抽出処理と、点列から他の CAD システムを用いて曲面を生成し、曲面を所定数のメッシュに分割する分割処理と、メッシュの接平面を形成する接線ベクトルによって定義される一次規格量を算出する一次規格量算出処理と、接線ベクトルとメッシュの法線ベクトルによって定義される二次規格量を算出する二次規格量算出処理と、点列情報及び一次規格量並びに二次規格量を記憶する記憶処理とを実行させる。

【選択図】 図 1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2002-292585
受付番号	50201499727
書類名	特許願
担当官	神田 美恵 7397
作成日	平成 14 年 10 月 22 日

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】	000006208
【住所又は居所】	東京都千代田区丸の内二丁目 5 番 1 号
【氏名又は名称】	三菱重工業株式会社

【特許出願人】

【識別番号】	300014820
【住所又は居所】	愛知県安城市二本木町二ツ池 28 番地 1
【氏名又は名称】	サイテック株式会社

【特許出願人】

【識別番号】	591099186
【住所又は居所】	長崎県長崎市旭町 8-20
【氏名又は名称】	株式会社パル構造

【代理人】

【識別番号】	100112737
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場 3 丁目 23 番 3 号 OR ピ ル志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	藤田 考晴

【代理人】

【識別番号】	100064908
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場 3 丁目 23 番 3 号 OR ピ ル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	志賀 正武

【選任した代理人】

【識別番号】	100108578
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場 3 丁目 23 番 3 号 OR ピ ル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	高橋 詔男

【選任した代理人】

次頁有

認定・付力口情報（続き）

【識別番号】 100101465

【住所又は居所】 東京都新宿区高田馬場3丁目23番3号 ORビル
志賀国際特許事務所

【氏名又は名称】 青山 正和

次頁無

出証特2003-3091661

特願 2002-292585

出願人履歴情報

識別番号 [00006208]

1. 変更年月日 1990年 8月10日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区丸の内二丁目5番1号
氏 名 三菱重工業株式会社

2. 変更年月日 2003年 5月 6日

[変更理由] 住所変更

住 所 東京都港区港南二丁目16番5号
氏 名 三菱重工業株式会社

特願 2002-292585

出願人履歴情報

識別番号 [300014820]

1. 変更年月日 2000年 2月16日

[変更理由] 新規登録

住所 愛知県安城市二本木町二ツ池28番地1
氏名 サイテック株式会社

特願2002-292585

出願人履歴情報

識別番号 [591099186]

1. 変更年月日
[変更理由]
住 所
氏 名

1991年 4月11日
新規登録
長崎県長崎市旭町8-20
株式会社パル構造

This Page is inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT OR DRAWING
- BLURED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- GRAY SCALE DOCUMENTS
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- REPERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- OTHER: _____

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.
As rescanning documents *will not* correct images
problems checked, please do not report the
problems to the IFW Image Problem Mailbox**